



## הצעה להמשך המחקר בנושא:

שימוש באפר פחם מרחף בייצוב בוצת שפכים עירונית לרמה של סוג א' בשיטת N-Viro

### **מוגש למנהלת אפר הפחם**

ע"י

**פנחס פיין, אורי מינגלגרין, מינהל המחקר החקלאי**  
**עמי גיפס, שירות שדה, משרד החקלאות**  
**אריה בוסק, משקי הדרום**

### הצגת הנושא

בשנה הראשונה של המחקר בחנו את ההתאמה של אפר פחם לייצוב בוצת שפכים, ואת השפעת הבוצה המיוצבת בסיד ובאפר (במס"א) על ההרכב הכימי של הקרקע ושל צמחי הבוחן. התאמת האפר כתחליף למלאן של "נשר" (המכיל חרסיות וגיר) וכן לסיד חי נבדקה ע"י כר"מ טכנולוגיות, והוצע פרוטוקול להכנת במס"א. הנושא נבדק על-ידנו בשת"פ עם מט"ש בית-שמש, והתוצרים נבדקו בניסוי עציצים מבוקר בחממה ובניסויי שדה. בניסוי העציצים בדקנו שישה הרכבי במס"א שונים, שעורבבו בחול דיונה ב-11 יחסי ערבוב שונים. עומס היישום היה בין 6.5 ל-26 טון תוסף/ד'. לפי תכולת החומר האורגני בתוספים העומס היה בין 0.6 ל-3.3 טון/ד'. ניסוי העציצים הסתיים ברובו. השנה הראשונה בניסויי השדה הסתיימה, ועתה מתבצעות הבדיקות הכימיות בצמחים ובקרקע.

הבעיות שנבחנו היו משלושה סוגים: (א) ההתאמה של אפר מרחף לשמש תחליף למלאן המקובל לייצוב הבוצה, (ב) ההשפעה ההדדית של הבוצה והאפר על זמינות יסודות קורט לצמח. החשש במקרה זה נובע הן מהתכולה הגבוהה יחסית של אוקסיאניונים באפר והן מהחומר האורגני המומס הנמצא בשפע בבוצה. (ג) זמינות יסודות קורט וזרחן לצמח, וסיכוני דליפה של יסודות קורט במערכות הנבדקות.

הממצאים העיקריים (בעיקר על סמך ניסוי העציצים) היו:

- (א) כל התערובות עם אפר פחם מרחף עמדו בתקן הישראלי לתכולת מתכות כבדות בבוצות לשימוש חקלאי. ריכוזי הזרחן הזמין בתערובות במס"א-חול היו גבוהים, וגם כעבור 120 יום, הזרחן הזמין היווה כ-20%-30% מכלל הזרחן שנותר בקרקע. שיעור המינרליזציה הממוצע של החנקן האורגני של הבמס"א היה גבוה, והחנקן המינרלי בקרקע הופיע כחנקה. הדבר מעיד כי התיפקוד ההטרוטרופי והאוטוטרופי של הקרקע לא נפגעו כלל.
- (ב) לא נראה סיכון לצמח, לקרקע ולשרשרת המזון מיסודות קורט אוקסיאניוניים שמקורם באפר הפחם או בבוצה. בעומסים שנבדקו (עד 26 טון/ד') כמעט לא הייתה השפעה על הריכוזים של מרבית יסודות הקורט והמתכות הכבדות בתירס. נציין, כי ניסוי העציצים בוצע בתערובות עם חול דיונה, ובמדיום זה, אם היו סיכונים, הם היו בולטים.
- יסוד שהושפע יותר היה בורון, שריכוזיו בצמחים עלו במעט בטיפול במס"א אך הם היו

נמוכים למדי (עד כ-40 מ"ג/ק"ג). גם ריכוזי מוליבדן בצמחים עלו בהשפעת הטיפולים בבמס"א (עד 3.3 מ"ג/ק"ג) אולם הם לא היו גבוהים בהשוואה לריכוזים הנחשבים בעייתיים (מעל 10 מ"ג/ק"ג; Basta et al., 2005<sup>1</sup>). עם זאת, הואיל וריכוזי נחושת בצמחים היו דומים לריכוזי המוליבדן, בע"ח מעלי-גירה הניזונים בקש כזה עלולים עקב כך ללקות במחסור בנחושת (מולבדנוזיס). הבעיה חמורה כשהזנת בעה"ח הנה על בסיס צמחים ממשפחת הפרפרניים שגדלו בתנאים אלה (McBride et al., 2000<sup>2</sup>) בגלל קליטת מוליבדן מועדפת בצמחים אלה, אך לא כשההזנה היא בתירס, הקולט מעט מוליבדן (O'Connor et al., 2001<sup>3</sup>).

### **הצעה להמשך ניסויים ובדיקות מתוכננות:**

(א) השלמת ניסויים שהחלו בשנה א' של המחקר:

א-1) סיכוני דליפה של יסודות קורט מקרקעות מטופלות בבמס"א:  
ההשקיה של התירס בעציצים הייתה ללא שטיפה, ולא היו תשטיפים לבדיקה. סיכוני דליפה ייבדקו בקרקעות שנשמרו מהניסוי, ובמדגמי קרקע שנלקחו/יילקחו מניסויי השדה. הבדיקה תהיה במיצוי מימי או במיצוי TCLP של הקרקעות. ניסויי השדה בוצעו בקרקע קלה (חמרה) ובקרקע חרסיתית (גרומוסול) (להלן א-2). מיצוי הקרקע מהשדה ייעשה משכבת היישוב. הבדיקות ייתנו ייצוג טוב של טווח תנאים רחב מאד, הן מבחינת עומסי היישוב, הן מבחינת תכונות הקרקע הנבדקת, והן מבחינת תנאי הגידול (בעל, ושלחין בעומד השקיה גבוה ודישון חנקני תכוף)

א-2) ניסויי שדה: שימוש בבמס"א כמחליף לדשן ובחינת ההשפעה הסביבתית של התוסף  
המבחן האמיתי של השפעת במס"א על הקרקע ועל גידולים הוא בשדה.

השפעת במס"א נבדקה בשני ניסויי שדה עיקריים, האחד בתנאי בעל (חיטה, על קרקע חרסיתית), והשני בשלחין (תפו"א, על קרקע חמרה). שני הניסויים כבר נקצרו או נאספו. היבולים נדגמו בצורה כמותית (להערכת יכול ולאסוף מדגמי צמח; פקעות תפו"א וגרגרי חיטה). הקרקע טרם נדגמה. בשני הניסויים ייבדקו הפילוג של יסודות הזנה בחתך הקרקע, היבול וההרכב הכימי של הפקעות / הגרגרים.

בחיטה הייתה הגדלה משמעותית ביבול השחת למספוא בטיפול הבמס"א בהשוואה

<sup>1</sup> Basta, N. T., J. A. Ryan, and R. L. Chaney. 2005. Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil: Key Concepts and Metal Bioavailability. *J. Environ. Qual.* 34:49-63.

<sup>2</sup> McBride, M.B., B.K. Richards, T. Steenhuis, and G. Spiers. 2000. Molybdenum uptake by forage crops grown on sewage sludge-amended soils in the field and greenhouse. *J. Environ. Qual.* 29:848-854.

<sup>3</sup> O'Connor, G.A., R.B. Brobst, R.L. Chaney, R.L. Kincaid, L.R. McDowell, G.M. Pierzynski, A. Rubin, and G.G. Van Riper. 2001a. A modified risk assessment to establish molybdenum standards for land application of biosolids. *J. Environ. Qual.* 30:1490-1507

לביקורת עם דישון מלא בחנקן ובזרחן (נספח 1). ההגדלה ביבול הייתה גדולה עוד יותר בהשוואה לטיפול שקיבל דישון חנקני בלבד. לעומת זאת, בתפו"א הייתה הקטנה משמעותית ומובהקת של יבול הפקעות בטיפול הבמס"א (בהשוואה להיקש שקיבל דישון יסוד מלא; כל הטיפולים קיבלו דשן אשלגני ביסוד ודשן חנקני מלא במהלך הגידול). זוהי תוצאה שלא קיבלנו כמותה בעבר, בניסויים הרבים שביצענו בבוצה מיוצבת בסיד (אקוסויל בית שמש). אין לנו הסבר לפחיתה ביבול ומומלץ מאד לחזור על הניסוי.

הביקורת העיקרית על העבודות באקוסויל היא שניסויי השדה בוצעו במשך עונה אחת בלבד. לכן, הכוונה שלנו היא לבצע את שני ניסויי השדה העיקריים (בתפו"א ובחיטה) במשך שלוש שנים לפחות. יישום התוספים יבוצע שוב בשנה השלישית (אע"פ שבשדות מסחריים הכוונה היא ליישם בתכיפות נמוכה יותר). לאור התוצאה השלילית בתפו"א בניסוי האחרון, אנחנו חייבים לבחון ביסודיות את האפקט של הבמס"א על תפוחי האדמה. הדבר יהיה בשטח בו נערך הניסוי לעיל. מראש נערכנו בשדה זה למספר טיפולים גדול מזה שבדקנו בפועל בשנה הראשונה בתכנון השטח לשלושה טיפולים נוספים (כל החלקות והטיפולים מוגרלים במערך של בלוקים באקראי). ננצל חלקות עודפות אלו להוספת טיפולים עם יישום במס"א מחדש בכל שנה.

ב) טיוב קרקעות נתרניות בבמס"א ובאפר פחם והשפעה סביבתית של התוספים  
המחקר בנושא זה מממן ברובו ע"י המדען הראשי של משרד החקלאות. אנו מציינים אותו בגלל העניין המשותף, ובגלל שהניסויים המקדימים במחקר התאפשרו באמצעות המימון של המנהלת. ברצוננו גם להרחיב את המחקר מעבר להיבטים הממומנים עתה.

כהקדמה קצרה נציין, כי יישום בקרקע של בוצות בכלל ובמס"א בפרט וכן של אפר פחם מרחף יכולים לשנות תכונות פיסיקליות חשובות של קרקעות כגון תאחיזת מים, יציבות תלכידים, חדירות ומוליכות לגזים ולמים ופילוג גודל נקבובים. הדבר מיוחס בעיקר למרכיב האורגני של הבוצות, אך גם להשפעתן הכימו-פיסיקלית. לדוגמא, לבמס"א עשויה להיות השפעה מטיבת משמעותית יותר מאשר לקומפוסט בוצה בזכות המסיסות הגבוהה של סידן, שהשפעתו החיובית על מבנה הקרקע ידועה. האפר והבמס"א עשויים להועיל ב'הרזיית' קרקעות כבדות ובצמצום. הסדקותן, כמו גם בשיפור תאחיזת המים בקרקעות קלות. יש גם סיכון מסיים הנובע משימוש בבמס"א והוא ה-pH ההתחלתי הגבוה של התוסף. pH גבוה בקרקע עלול לגרום להרעה בלתי-הפיכה במבנה הקרקע, בעיקר אם עיבודים נעשים בעת שהקרקע רטובה מידי.

בניסוי מקדים במעבדה השווינו קומפוסט בוצה, אקוסויל (עם חרסיות כמלאן), ובוצה שניונית לא-מיוצבת על הרכב הקומפלקס הסופח של שלוש קרקעות נתרניות, שונות במרקמן (חול, סידן לסי וחרסית) ובתכולת הגיר שלהן (ללא גיר או מכילות גיר). לשם השוואה בחנו גם

השפעת גבס חקלאי. התוצאות העיקריות היו שהאקוסויל הפחית את הנתרניות של קרקע חמרה-חולית בדומה לגבס אך לא של הקרקעות האחרות. בוצה לא-מיוצבת הייתה אפקטיבית במיוחד בקרקעות הגיריות (הקרקע הלסית והקרקע החרסיתית), בדומה לגבס. ההנחה היא שבמס"א מבוצת שפד"ן (בוצה עשירה הרבה יותר במרכיב הבוצה ובחנקן אורגני, וכן המכילה אפר פחם מרחף במקום חרסיות) תשלב את התועלות של האקוסויל, של הבוצה הבלתי-מיוצבת ושל אפר הפחם גם יחד.

ניסוי חממה: מוצע לבצע ניסוי במכלים בנפח 10 ל" לבדיקת פוטנציאל הקליטה של יסודות קורט בצמח ופוטנציאל השטיפה שלהן מחתך הקרקע. ייבדקו שתי קרקעות נתרניות (חרסיתית וחולית) שיוספו לשכבת הקרקע העליונה. הטיפולים יהיו בבמס"א, אפר פחם, קומפוסט בוצה, גבס חקלאי וללא תוספת. כל אחד מהתוספים יינתן בשני שיעורי יישום – האחד, כמקובל בשימוש חקלאי (כגון: 2 טון/ד') והשני בשיעור גבוה השקול למנה של 5-10 שנים. גידול הבוחן יהיה חיטה או תירס.

תכנית הניסוי: בקיץ 2007 התחלנו לבדוק השפעה של במס"א, אפר פחם, קומפוסט בוצה וגבס חקלאי על תכונות פיסיקליות של קרקע נתרנית בשדה ברבדים. הגידול הנוכחי הוא תירס למספוא (זריעה בראשית מאי 2007), וכל הטיפולים מושקים מדושנים כמקובל בטיפול המשקי. תוצאות ראשוניות (מדידת אמצע יוני; נספח 2) הראו כי לתוספים לא הייתה השפעה על שיעור הנביטה ועל גובה הצמחים בהשוואה לביקורת ללא תוסף (הייתה השפעה מסוימת להטרוגניות של השטח: ראה השפעת הבלוק). הקרקע נדגמה בכל החלקות (10 מ' x 6 מ'; 6 חזרות בבלוקים באקראי) ב-3 מרווחי עומק, ועתה נעשות בדיקות מרקם, קיבול והרכב הקטיונים החליפים ואחוז הנתרן הספוח, ובדיקות פוריות.

#### לסיכום מוצע:

- (1) לבדוק את הזמינות הפוטנציאלית של יסודות קורט לשטיפה (כגון במיצוי מימי או ב-TCLP) בתערובות הבמס"א-חול מניסוי העיצים שבוצע בשנה החולפת.
- (2) להשלים את הבדיקות בניסויי השדה בחיטה ובתפוז"א, ולהמשיך את הניסויים האלה ל-2-3 שנים נוספות.
- (3) לבחון פוטנציאל טיוב קרקעות נתרניות באמצעות במס"א, במכלים בחממה (בדגש על פוריות והתנהגות של יסודות קורט בקרקע ובמים) ובשדה (השלמה למחקר המבוצע במימון המדען הראשי במשרד החקלאות).

משך המחקר המוצע הוא לשנתיים נוספות בדגש על המשך ניסויי השדה, להשלמה של לפחות שלוש שנות ניסוי בכל אחד מהאתרים (בשלחין ובבעל). עי"כ ניתן יהיה להציג תוצאות משדות בהן בוצע מחקר מתמשך לטווח זמן ארוך יותר ממה שביצענו עד כה.

**נספח 1:**  
**יישום אקוסויל ובוצה בגידול חיטה ברבדים - סיכום ראשוני של התוצאות**

**דו"ח מלא יוגש עם השלמת הבדיקות**

טבלת טיפולים:

מס'	סמל הטיפול	טיפול	מ"ק/ד	תוספת בוצת אשדוד (מ"ק/ד)
1	Cont	בקורת – דישון ב-10 יח' חנקן וזרחן	0	
2	Cont -P	טיפול משקי – עם חנקן כנ"ל, ללא זרחן	0	
3	Biosolids-50	בוצת אשדוד	5	
4	ASB-50	אקוסויל אפר פחם	5	
5	ASB-100	אקוסויל אפר פחם	10	
6	ASB-50+B20	אקוסויל אפר פחם + בוצה	5	2
7	ASB-100+B40	אקוסויל אפר פחם + בוצה	10	4

כל חלקה היתה על שטח של 600 מ"ר (50 מ' x 12 מ'). הניסוי היה במתכונת של בלוקים באקראי. טיפול 7 ניתן כפס בשולי השטח. טיפולים 5 ו-6 ניתנו על פי התחזית (שנתממשה) שמט"ש בית-שמש יוכל להכפיל את תכולת מרכיב הבוצה באקוסויל.

אין הבדל בתכולת החנקן בין בוצות בית-שמש ואשדוד (כ-5% מהמשקל היבש). יש הבדל ביניהן בתכולת הזרחן: כ-1% וכ-1.5% (מהמשקל היבש) בבוצות בית-שמש ואשדוד, בהתאמה.

סיכום התוצאות:

יבול חיטה – הן שחת והן גרגרים – יש גידול בגידול בטיפולי הבוצה ביחס לטיפול הביקורת, אולם היא משמעותית או מובהקת רק בהשוואה לטיפול שלא קיבל דישון זרחני.

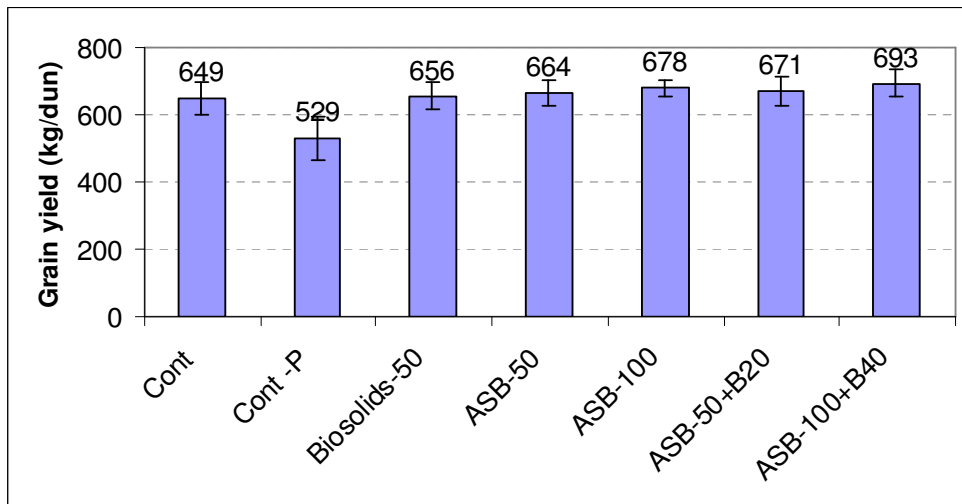
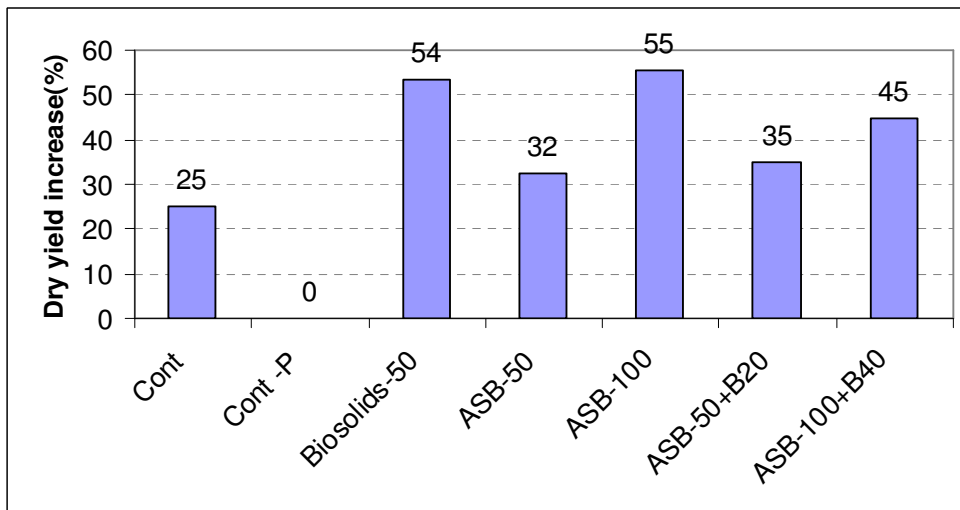
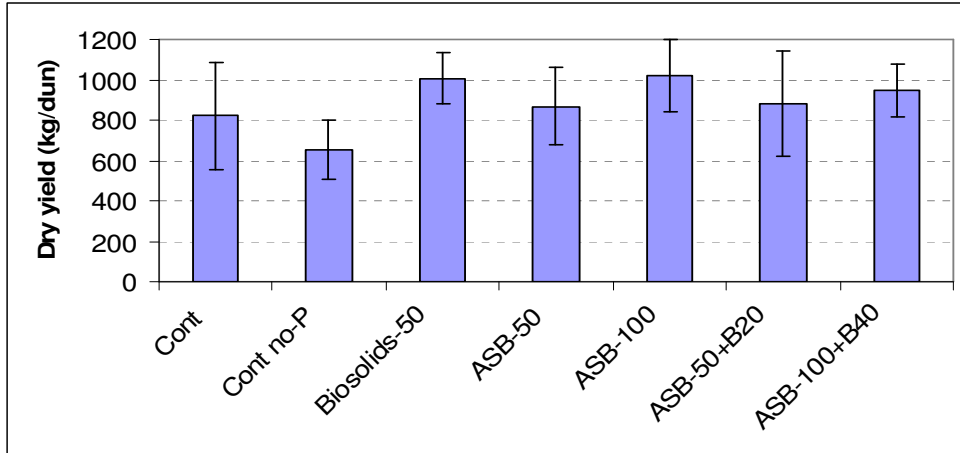
למעשה, לבדיקת המובהקות אין משמעות הואיל והטיפול ללא זרחן לא היה במסגרת הניסוי, אלא כתצפית בשולי השטח.

**איור 1a:** יבול שחת (יבש).

**איור 1b:** יבול שחת (יבש) - % השינוי בהשוואה לטיפול שלא קיבל דשן זרחני.

**איור 2:** יבול גרגרים.

**יבול חיטה – רבדים 2006/7**



## נספח 2: גובה צמחי התירס (ס"מ) ב-17/06/07 (כחודש וחצי לאחר הזריעה)

גורם נבדק	מס' חזרות	ממוצע	סטיית תקן	טעות התקן	מובהקות <sup>1</sup>
<u>טיפול זיבול</u>					
גבס 500 ק"ג/ד'	6	186	18	8	a
אפר פחם מרחף 20 ט'/ד'	6	169	18	7	a
במס"א 15 ט'/ד'	6	185	32	13	a
קומפ' בוצה 15 ט'/ד'	6	181	18	8	a
ללא תוספת	24	184	17	3	a
<u>מיקום החלקה ('הבלוק')</u>					
a	8	191	15	5	ab
b	8	195	11	4	a
c	8	184	15	5	ab
d	8	178	20	7	ab
e	8	168	23	8	b
f	8	171	19	7	ab

<sup>1</sup>LSMeans Differences Tukey HSD alpha=0.05